



21 Aktenzeichen: 197 09 383.3  
22 Anmeldetag: 7. 3. 97  
43 Offenlegungstag: 17. 9. 98

71 Anmelder:  
Sachsenholz AG, 82041 Oberhaching, DE; Franke,  
Berndt, Prof. Dr.-Ing. habil., 09627 Oberbobritzsch,  
DE

72 Erfinder:  
Franke, Berndt, Prof. Dr.-Ing.-habil., 09627  
Oberbobritzsch, DE; Tündermann, Helmut,  
Dipl.-Kaufm., 83416 Saaldorf-Surheim, DE

56 Entgegenhaltungen:  
DE 43 42 165 C1  
DE-Buch: Strömungsmaschinen 1 von W. Bahl,  
5. Aufl., Vogel Buchverlag S. 165, Bild 9.5;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur energetischen Nutzung von Biomasse mit Kraft-Wärme-Kopplung

57 Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zu entwickeln, das unter Abwendung bekannter Verfahren zur Biomassevergasung und Gasreinigung ein Brenngas mit einer solchen Qualität erzeugt, die die Anwendung dieses Brenngases in einem nachfolgenden Gas- und Dampfturbinen-Prozeß mit gekoppelter Elektroenergie- und Wärmeerzeugung ermöglicht.

Erfindungsgemäß werden die für den Einsatz eines in einem Holzvergaser erzeugten Brenngases in einer Gasturbine erforderlichen thermodynamischen, strömungsmechanischen und chemischen Parameter dadurch erreicht, daß das erzeugte Brenngas entstaubt und gewaschen und der Gasturbine mit einem Druckverhältnis von 6 bis 20 und einem Temperaturverhältnis von 2 bis 10 zugeführt wird. Es wird eine technisch realisierbare Brenngaserzeugungstechnologie für Biomasse mit jeweils angepaßtem Brenngasreinigungsregime dem Gasturbinenprozeß zugeordnet und vorgeschaltet.

Das Verfahren kann in thermischen Energiewandlungsanlagen angewendet werden, in denen Biomassen als Primärenergieträger zum Einsatz kommen und die Nutzenergien Wärme und Elektroenergie gleichzeitig als Prozeßgrößen ausgekoppelt werden sollen.

Das Verfahren kann in thermischen Energiewandlungsanlagen angewendet werden, in denen Biomasse als Primärenergieträger zum Einsatz kommen und die Nutzenergien Wärme und Elektroenergie gleichzeitig als Prozeßgrößen ausgekoppelt und bedarfsstrukturgerecht den Verbrauchern bereitgestellt werden sollen. Dieses Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung bildet die Basis für Heizkraftwerke zentraler und dezentraler Einrichtungen.

Gas- und Dampfturbinen-Heizkraftwerke, bestehend aus den Hauptkomponenten Gasturbine, Abhitzeessel und Dampfturbine, stellen für die fossilen Brennstoffe Erdgas und Heizöl Stand der Technik dar. Die technische Realisierung der Kraft-Wärme-Kopplung als Heiz-Kraftanlage ist gegenüber der getrennten Erzeugung von Elektroenergie und Wärme durch den thermodynamisch begründeten, höchsten Gesamtwirkungsgrad und so wirtschaftliche Effizienz gekennzeichnet.

Die erzielbaren Wirkungsgrade erreichen danach

- energetischer Wirkungsgrad (Brennstoffausnutzung)

$$\eta_{en} = \frac{P_{elGT} + P_{elDT} + \dot{Q}_H}{\dot{Q}_B} < 0,85$$

- thermischer Wirkungsgrad (elektrischer)

$$\eta_{th} = \frac{P_{elGT} + P_{elDT}}{\dot{Q}_B} < 0,55$$

Einen weiteren Vorteil des Gas- und Dampfturbinen-Prozesses stellt die Möglichkeit dar, mit einer Entnahme-Kondensations-Dampfturbine die Gesamtanlage unabhängig von Wärmebedarfsschwankungen mit Auslegungsleistung und somit ohne teillastbedingte Wirkungsgradminderung betreiben zu können.

Gas- und Dampfturbinen-Heizkraftwerke sind durch die thermische und hydraulische Belastung der Gasturbinenbrennkammer in ihrer Leistung nach oben hin konstruktiv begrenzt. Eine untere Grenze resultiert aus der noch ausführbaren Beschauelfung der Dampfturbine sowie aus der durch relativ hohe Investkosten stark beeinflussten Wirtschaftlichkeit.

Voraussetzung für die energetische Nutzung von Biomasse zum Antrieb von Gasturbinen und Gasmotoren ist die Erzeugung eines Brenngases. Für die Vergasung von Biomasse, vorrangig Holz, existieren verschiedene Verfahren, von denen u. a. die Festbettvergasung im Gleich- oder Gegenstrom und die Wirbelschichtvergasung (jeweils atmosphärisch oder druckaufgeladen) für den Antrieb einer Energiewandlungsmaschine geeignet erscheinen. Es wurden Blockheizkraftwerke mit Gasmotor auf Holzgas- und folglich Schwachgasbasis konzipiert, apparatetechnisch angepaßt und erprobt. Der direkte Kontakt des schadstoffbeladenen Verbrennungsgases und des Schmierungssystems im Motor sowie eine Teilkondensation von Kohlenwasserstoffen durch die thermodynamisch bedingte Mantelkühlung sind Ursachen für nur geringe Standzeiten dieser Anlagen. Darüber hinaus gestatten die Mantelkühlung und die Abgasenthalpienutzung keine nachgeschaltete Dampferzeugung und Dampfturbine, so daß Wärmebedarfsschwankungen immer eine Teillastfahrweise zur Folge haben.

Die technische Realisierung eines Gas- und Dampfturbinen-Heizkraftwerkes auf der Basis niederkalorischen Biomasse-gases setzt folgende Konzeption voraus:

- Biomassevergasung mit definierter Brennstoffstruktur und Rohgasreinigung
- Gasturbine mit an Schwachgas angepaßter Brennkammer
- Abhitzedampferzeuger mit oder ohne Zusatzfeuerung
- Dampfturbine mit energetisch sinnvoller Ausführung als Entnahme-Kondensationsturbine.

Der Einsatz von Abhitzedampferzeugern mit gespeister Dampfturbine gehören zum Stand der Technik.

Die Kombination von Biomassevergasung und Gasturbintechnik scheiterte bisher hauptsächlich an der Qualität des im Vergaser erzeugten Brenngases und einer stabilen Verbrennung des niederkalorischen Brenngases in der Brennkammer der Gasturbine.

Der Einsatz einer Gasturbine setzt teerfreies Brenngas geringer Staubbelastung voraus. Hohe Brenngasvolumenströme infolge des geringen Heizwertes erfordern vergrößerte Brennkammern der Gasturbinen, dem jedoch ein verringertes Luftverhältnis entgegensteht.

Daraus resultiert die Forderung nach einer thermodynamisch, hydrodynamisch und stofflich exakt definierten Schnittstelle zwischen Gaserzeugung einschließlich Gasreinigung und Brennkammereintritt der Gasturbine. Die damit festzulegenden Koppelparameter sind Voraussetzung für die Gas- und Dampfturbinenanlage.

Technische Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zu entwickeln, das unter Anwendung bekannter Verfahren zur Biomassevergasung und Gasreinigung ein Brenngas mit einer solchen Qualität erzeugt, die die Anwendung dieses Brenngases in einem nachfolgenden Gas- und Dampfturbinen-Prozeß mit gekoppelter Elektroenergie- und Wärmeenergie ermöglicht.

Um die für einen Gas- und Dampfturbinen-Prozeß erforderlichen Qualitätsparameter eines in einem Holzvergaser erzeugten Brenngases erreichen zu können und eine Verbrennung des niederkalorischen Brenngases in den Brennkammern einer Gasturbine zu ermöglichen, sind definierte thermodynamische und strömungsmechanische Parameter, Heizwert und Stoffgrößen zu garantieren. Erlindungsgemäß werden diese Parameter dadurch erreicht, daß das in einem Vergasungsprozeß für Biomasse erzeugte Brenngas entstaubt und gewaschen und der Gasturbine mit einem Druckverhältnis von 6 bis 20 und einem Temperaturverhältnis von 2 bis 10 zugeführt wird.

Die jeweils notwendige Brenngasqualität und der Brenngaszustand in der Schnittstelle zwischen Brenngaserzeugung einschließlich Brenngasreinigung und Brennkammer der Gasturbine werden vorrangig bestimmt durch die konstruktive Ausführung der vorhandenen Gasturbinen sowie durch deren heizwertbedingte Brennkammeranpassung. Die Brennkammeranpassung ist erforderlich, da der gegenüber Erdöl und Erdgas weit niedrigere Heizwert des Brenngases aus Biomasse einen erhöhten Brenngasvolumenstrom, jedoch einen stöchiometrisch bedingt niedrigeren Verbrennungsluftvolumenstrom zu Folge hat.

Die Einhaltung der zu definierenden Schnittstelle ist somit von der ersten Stufe des gesamten Prozeßablaufes, der Brenngaserzeugung und der ihr unmittelbar nachgeschalteten Brenngasreinigung abhängig. Einen ungehinderten Prozeßablauf und stabilen Gasturbinenbetrieb mit Brenngas aus dem Primärenergieträger Biomasse zu realisieren, erfordert die Zuordnung eines geeigneten technisch ausführbaren Vergasungsprinzips einschließlich der Brenngasreinigung.

Der Primärenergieträger Biomasse wird in einem physikalisch-chemischen Prozeß vergast und dieses Brenngas in einem nachfolgenden weiteren thermischen Prozeß unter

Zugabe von Luft verbrannt. Das so in einer Brennkammer entstehende Verbrennungsgas hoher spezifischer Enthalpie wird im Entspannungsprozeß einer Gasturbine bei Abgabe von mechanischer und daraus elektrischer Energie entspannt. Das abgeführte Abgas wird nachfolgend zur Dampferzeugung genutzt, womit der Betrieb einer Dampfturbine erfolgt und folglich wiederum elektrische Energie sowie Wärme aus der Abdampfenthalpie nach außen abgeführt wird.

Die Aufgabe einer technisch realisierbaren thermodynamischen Prozeßfolge zur energetischen Nutzung von in einem Gas- und Dampfturbinen-Heizkraftwerk wird erfindungsgemäß dadurch gelöst,

- daß die Schnittstelle als Kriterium für die Funktionstüchtigkeit zwischen Brenngaserzeugungsanlage mit Brenngasreinigung und Brenngaseintritt in die Brennkammer der Gasturbine angeordnet wird;
- daß diese Schnittstelle durch einen Bereich kennzeichnender thermodynamischer, strömungsmechanischer und chemischer Brenngasgrößen mit Druck, Temperatur, Volumenstrom, Stoffwerten, Heizwert, Brenngaszusammensetzung und -verunreinigungen qualifiziert wird;
- daß die so definierte Schnittstelle garantiert wird, indem eine technisch realisierbare Brenngaserzeugungstechnologie mit jeweils angepaßtem Brenngasreinigungsregime dem Gasturbinenprozeß zugeordnet und vorgeschaltet wird.

Die Anwendung der Erfindung ist geeignet zur gleichzeitigen Bereitstellung von Wärme und Elektroenergie in industriellen, land- und forstwirtschaftlichen sowie kommunalen Bereichen bis  $\dot{Q} = 20$  MW und  $P_{el} = 15$  MW.

Dazu zählen mittelständische Produktionsbetriebe mit vorrangiger Abnahme von Prozeßwärme, ebenso wie Einrichtungen mit reinem Heizungswärmebedarf. Die Errichtung der Energiewandlungsanlage ist bei zentraler Versorgung am Standort des Hauptverbrauchers vorzugeben.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es möglich, nachwachsende Rohstoffe durch Vergasung in einem Gasturbinenprozeß mit gekoppelter Elektroenergie- und Wärmeerzeugung bei maximalem Anlagenwirkungsgrad energetisch zu nutzen.

Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens gegenüber dem Stand der Technik liegen insbesondere begründet in

- der CO-armen Brennstoffenergiewandlung,
- der Nutzung des ständig nachwachsenden Brennstoffpotentials von Biomasse, vor allem Waldrestholz sowie die Nutzung von landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen durch Anbau von Energieholz,
- der Möglichkeit einer ganzjährigen Fahrweise mit Auslegungsleistung und somit Verhinderung einer wirkungsgradmindernden Teillastfahrweise oder Außerbetriebnahme infolge mangelnden Wärmebedarfs,
- dem Einsatz einer Gasturbine
  - als rotierende Maschine zur Wandlung thermischer in mechanische Energie
  - mit einem vom entspannenden Verbrennungsgas räumlich getrennten Schmiersystem
  - als Maschine ohne Wandungskühlung und dadurch Wegfall der Kopplung vom thermodynamischen Entspannungsprozeß mit der nutzbaren Heizleistung.

Das Beispiel einer ausgeführten Anlage (siehe Schalt-

schema) ist als klassisches Gas- und Dampfturbinen (GuD)-HKW konzipiert, wobei das Brenngas für die Gasturbine in einem Holzvergaser produziert wird.

- Das System besteht im wesentlichen aus den Komponenten Holzvergaser (5) mit Brennstoffbereitstellung (1–4) und Gasbehandlung (8–11), Gasturbine (13) mit Luftverdichter und Brennkammer, Abhitzedampferzeuger (14) mit Speisewasser-, Dampf- und Abgasanlage sowie der Dampfturbine (15) mit Wärmeübertrager zur Wärmeversorgung (16) und Kondensationsteil (17, 18).

Der Brennstoff Naturholz wird nach Anlieferung bzw. Vorratslager vergasergerecht zerkleinert (1) und getrocknet. Zur Gewährleistung einer kontinuierlichen Brennstoffzufuhr zum Vergaser ist dem Holztrockner (3) ein Pufferbehälter (4) für Holzhackschnitzel nachgeschaltet.

Das im Holzvergaser (5) erzeugte Holzgas wird in einem Gaskühler (7) gekühlt, in einem Staubabscheider (8) von mechanischen Bestandteilen gereinigt und über eine Gaswäsche, bestehend beispielsweise aus einem Öl- (9) und Wasserwäscher (10), hauptsächlich zur Abscheidung von Teer und löslichen Inhaltsstoffen geführt. Dadurch werden die für die Nutzung des Brenngases in der Gasturbine erforderlichen Parameter realisiert:

Brenngaszusammensetzung	
CO	16–24Vol.-%
CO <sub>2</sub>	9–16Vol.-%
CH <sub>4</sub>	1–6Vol.-%
H <sub>2</sub>	12–24Vol.-%
O <sub>2</sub>	< 1 Vol.-%
N <sub>2</sub>	Rest
Staub < 10 µm	< 20 ppm (v)
H <sub>2</sub> S	< 2 Vol.-%
Natrium	< 1 ppm(v)
flüssige Kohlenwasserstoffe	nicht kondensiert
Teere	< 100 mg/m <sup>3</sup>
H <sub>2</sub> O	nicht kondensiert
Heizwert des Brenngases	
H <sub>u</sub>	3,9–62, MJ/Nm <sup>3</sup>
Temperatur des Brenngases	
T <sub>BG</sub>	20–70°C

- Das Holzgas wird nach Verdichtung (12) auf Gasturbineintrittsdruck in der Brennkammer verbrannt, wozu bei Anfahrprozessen und Teillast eine Stützflamme notwendig sein wird, und im Expansionsteil der Gasturbine (13) entspannt. Die technische Arbeit, die dadurch freigesetzt wird, dient zur Erzeugung von Elektroenergie und zur Verdichtung der Verbrennungsluft.

Aus dem die Gasturbine mit Temperaturen zwischen 400°C und 600°C verlassenden Abgas wird im Abhitzedampferzeuger (14), bestückt mit Speisewasservorwärmer-, Verdampfer- und Überhitzerheizflächen, der Frischdampf für die Dampfturbine (15) erzeugt.

Die Dampfturbine besteht aus einem Entnahme- und einem Kondensationsteil. Über die Entnahmedampfschiene (16) wird im Auslegungsfall die Heizleistung für die Wärmeverbraucher (21) bereitgestellt. Der Kondensationsteil (17, 18) der Dampfturbine ermöglicht wiederum die Elektroenergieerzeugung und damit den Betrieb der Gesamtanlage einschließlich der Gasturbine, ohne dem Lastgang, d. h. dem schwankenden Wärmeverbrauch der Abnehmer folgen zu müssen.

Die Gesamtanlage wird durch einen Speisewasserbehälter mit Entgasung (19), eine Speisewasseraufbereitungsanlage (20), den Spitzenlastkessel (22) und die Abgasanlage

(23) vervollständigt.

# Patentansprüche

Verfahren zur energetischen Nutzung von Biomasse 5  
mit Kraft-Wärme-Kopplung, bei dem aus Biomasse in  
bekannter Weise in einem Vergaser Brenngas erzeugt  
wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß das erzeugte  
Brenngas entstaubt und gewaschen und einer Gastur- 10  
bine mit einem Druckverhältnis  $\pi$  von 6 bis 20 und ei-  
nem Temperaturverhältnis  $\tau$  von 2 bis 10 zugeführt  
wird.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

**THIS PAGE BLANK (US)**

- Leerseite -

